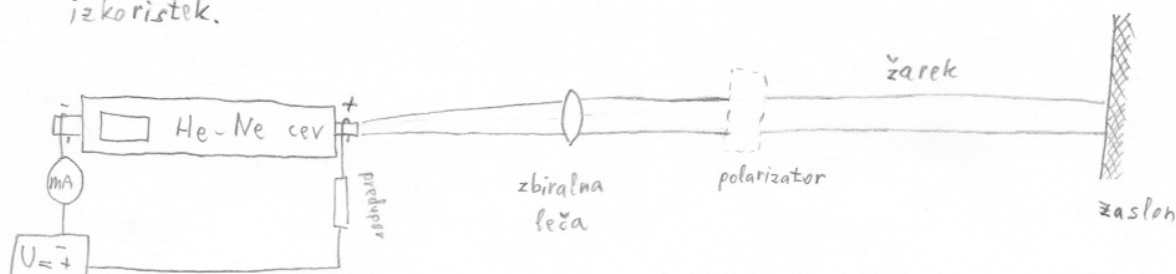


VAJA 1: HELIJ-NEONSKI LASER

Nepolarizirani laserski cevi priključimo na napetost 1200V in izmerimo delovni tok I_d . Iz tega ^{in moč} izračunamo η laserja in njegov izkoristek.



Nepolariziran laser:

$$I = 4,15 \text{ mA}$$

$$U = 1,2 \text{ kV}$$

$$P_{\text{optična izh.}} = 2 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{optična izh.}}}{P_{\text{vhod laserja}}} = \frac{P_{\text{optična izh.}}}{U \cdot I} = \frac{2 \text{ mW}}{4,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 \text{ V}} = 0,04\%$$

Spreminjamo predupor in ugotovimo, da je pragovni tok 0,6 mA.

Ko na polarizatorju nastavimo polarizacijo, vidimo da se s časoma polarizacija spreminja, saj žarek na zaslonu izgineva.

Polariziran laser:

Zamejamo predupor.

$$I = 0,45 \text{ mA}$$

$$U = 1,2 \text{ kV}$$

$$P_{\text{opt. izh.}} = 2 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{opt. izh.}}}{P_{\text{vhod laserja}}} = \frac{P_{\text{opt. izh.}}}{I \cdot U} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 1200} = 0,37\%$$

Barva svetlobe, ki jo oddaja He-Ne laser je odvisna od frekvenčno odvisnih zrcal, katera se nahajata na obeh koncih laserske cevi, in od plinske zmesi.

Polarizacija svetlobe, ki izhaja iz rotacijsko simetričnega He-Ne laserja je nedoločena.

Da laser oddaja točno določeno linearno polarizirano svetlobo dosežemo z vzstavitvijo steklene ploščice, nagnjeno za Brewsterjev kot.

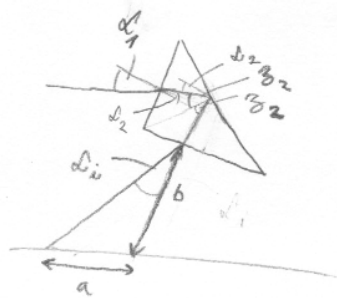
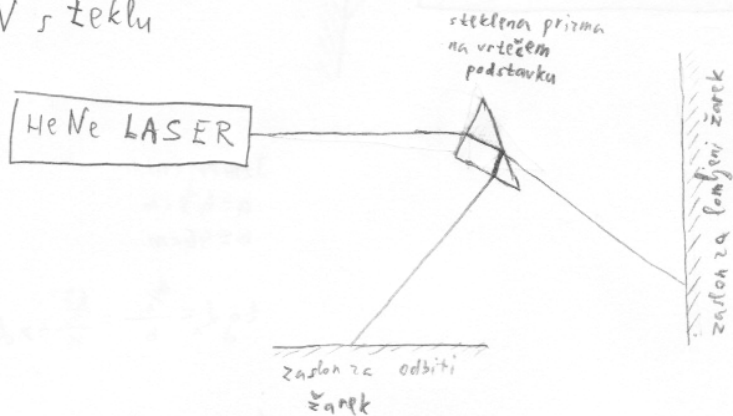
Izmerjen pragovni tok He-Ne laserske cevi je 0,6 mA, delovni tok pa 4,15 mA.

Razlika med uporabljenima laserjema je v velikosti, zgradbi in izkoristku. Izkoristek je boljši pri polarizirani cevi.

Laser niha na treh spektralnih črtah, odvisno od dolžine cevi laserja.

VAJA 2: MERJENJE LOMNEGA KOLIČNIKA PREKO POPOLNEGA ODBOJA

a) V s teku



$$d_1 = 2 \cdot d_2 \Rightarrow d_1 = \frac{d_2}{2} = \frac{6^\circ}{2} = 3^\circ$$

$$d_2 + \beta_2 = 45^\circ$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{1}{\sin \beta_2} = n$$

$$\frac{\sin 3^\circ}{\sin (45^\circ - \beta_2)} = \frac{1}{\sin \beta_2}$$

$$\frac{\sin \beta_2}{\cos \beta_2} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sin 3^\circ + \frac{\sqrt{2}}{2}} = \tan \beta_2 \Rightarrow \beta_2 = 42,95^\circ$$

$$n = \frac{1}{\sin \beta_2} = \frac{1}{\sin (42,95^\circ)} = 1,467$$

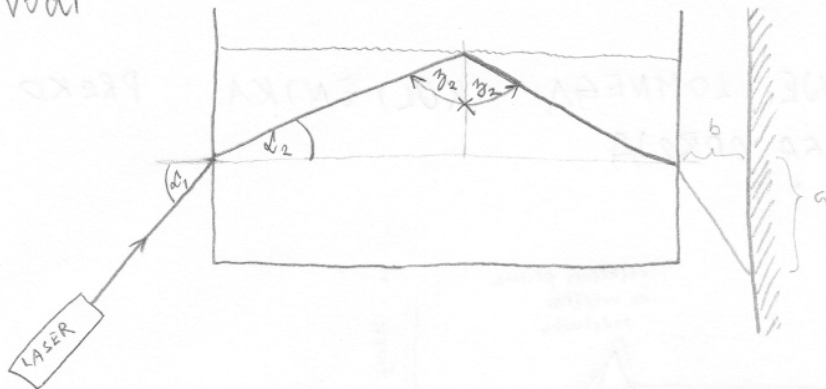
Lomni količnik prizme je približno 1,47.

Mejni kot popolnega odboja je 42,95°.

Lomljeni žarek se razmaže v podolgovato ličo preden izjine zato, ker se svetloba na svoji poti razprši.

če bi bila prizma prevlečena z AR slojem, bi bil rezultat merjenja enak. le da bi dobili več odboja tudi na vrtljivi strani prizme.

b) v vodi



$$\alpha_1 = 76^\circ$$

$$n_{\text{zrak}} = 1$$

$$\alpha_2 = 90 - \alpha_1$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{\text{voda}} = \frac{1}{\cos \beta_2}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \alpha_2}{\cos \beta_2} =$$

$$= \tan \beta_2$$

$$\alpha_2 = \arctan(\sin \alpha_1) = 44,7^\circ$$

Izmerjeni:

$$a = 6,8 \text{ cm}$$

$$b = 46 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{a}{b} = \frac{6,8}{46} \Rightarrow \alpha_2 = 4,22^\circ$$

$$\alpha_2 + \beta_2 = 45^\circ \Rightarrow \beta_2 = 45^\circ - \alpha_2 =$$

$$= 45^\circ - 4,22^\circ =$$

$$= 40,78^\circ$$

$$n = \frac{1}{\cos \beta_2} = \frac{1}{\cos(40,78^\circ)} = \underline{\underline{1,32}}$$

VAJA 3: MERJENJE LOMNEGA KOLIČNIKA IZ BREWSTER-JEVEGA KOTA

Z vrtenjem zrcala in laserske cevi poskušamo doseči minimum odbitih žarkov in nato s polarizatorjem najti čimboljšo linearno polarizacijo. Ko žarek skoraj izginje, iz izmerjenih razdalj izračunamo Brewster-jev kot in lomni količnik stekla.



$$n_1 = 1$$

$$a = 24 \text{ cm}$$

$$b = 59 \text{ cm}$$

$$d = 70,5 \text{ cm}$$

$$\tan \beta = \frac{b}{a} = \frac{59}{24} \Rightarrow \beta = 67,9^\circ$$

$$2\alpha = 180^\circ - \beta \Rightarrow \alpha = \frac{180^\circ - \beta}{2} = \frac{180 - 67,9}{2} = 56,05^\circ = \underline{\underline{56^\circ 05'}}$$

$$\tan \alpha = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = \tan \alpha \cdot n_1 = \tan 56^\circ 05' \cdot 1 = \underline{\underline{1,49}}$$

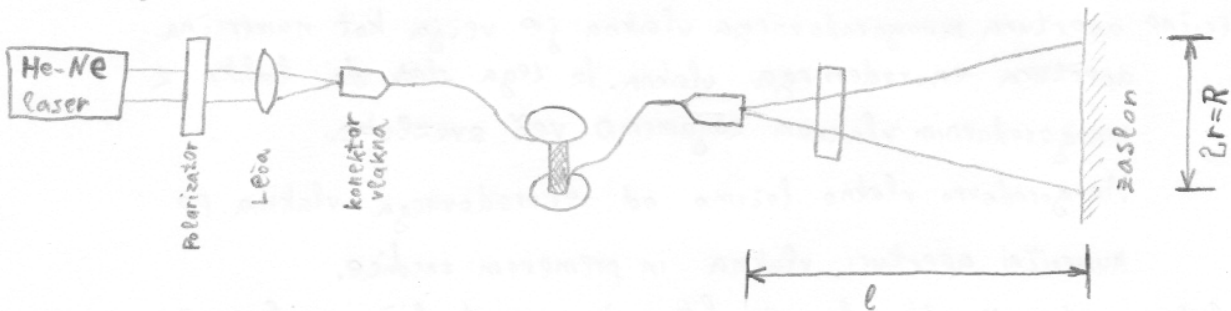
Izračunani Brewster-jev kot je $56^\circ 05'$, lomni količnik ploščice je 1,49.

Brewster-jevo okno se uporablja tam, kjer rabimo zelo majhne izgube svetlobe.

Odbojnosti Π in Π^* imata medsebojno povezavo v tem, da imata enake kote pri vstopu in vstopu žarka iz steklene ploščice.

VAJA 4: POSAVI V MNOGORODOVNEM OPTIČNEM VLAKNU

S pomočjo polarizatorja, pred zbiralno lečo in nastavitvijo leče, nastavimo največjo moč žarka v optično vlakno in s tem usmerimo skozi optično vlakno največjo moč žarka, katerega umerimo na zaslon. S spreminjanjem lege vlakna, glede na svetlobni izvor, opazujemo na zaslonu spreminjanje rodov. Vajo izvedemo z mnogorodovnim in enorodovnim vlaknom. Za izračun numerične aperture izmerimo premer slike na zaslonu in oddaljenost zaslona od konca vlakna, iz katerega izhaja žarek skozi medij zraka na zaslon. Opazujemo projekcije vlakna s stopničastim in parabolničnim lomnim likom.



a) Vlakno s parabolničnim lomnim likom

$$l = 15,5 \text{ cm}$$

$$R = 6,3 \text{ cm}$$

$$NA = ?$$

$$\tan d = \frac{\frac{R}{2}}{l} = \frac{R}{2l} \Rightarrow d = \arctg\left(\frac{R}{2l}\right) = \underline{\underline{11,49^\circ}}$$

$$NA = \sin d_{\max} = \sqrt{n_{1\max}^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sin d = \underline{\underline{0,199}}$$

vlakno s stopničastim lomnim likom

$$l = 14,5 \text{ cm}$$

$$R = 5,1 \text{ cm}$$

$$NA = ?$$

$$\tan d = \frac{\frac{R}{2}}{l} = \frac{R}{2l} \Rightarrow d = \arctg\left(\frac{R}{2l}\right) = \underline{\underline{12,5^\circ}}$$

$$NA = \sin d_{\max} = \sqrt{n_{1\max}^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sin d = \underline{\underline{0,216}}$$

Na zaslonu vidimo več pikic \approx mnogorodovno vlakno.

b) ENORODOVNO vlakno

$$l = 15,6 \text{ cm}$$

$$R = 4,1 \text{ cm}$$

NA = ?

$$\tan \alpha = \frac{R}{l} = \frac{R}{z \cdot l} \Rightarrow \alpha = \arctg\left(\frac{R}{z \cdot l}\right) = \underline{\underline{7,49^\circ}}$$

$$NA = \sin \alpha = \underline{\underline{0,13}}$$

Na zaslonu imamo samo eno veliko piko.

Na vходу mnogorodovnega vlakna je svetloba linearno polarizirana.

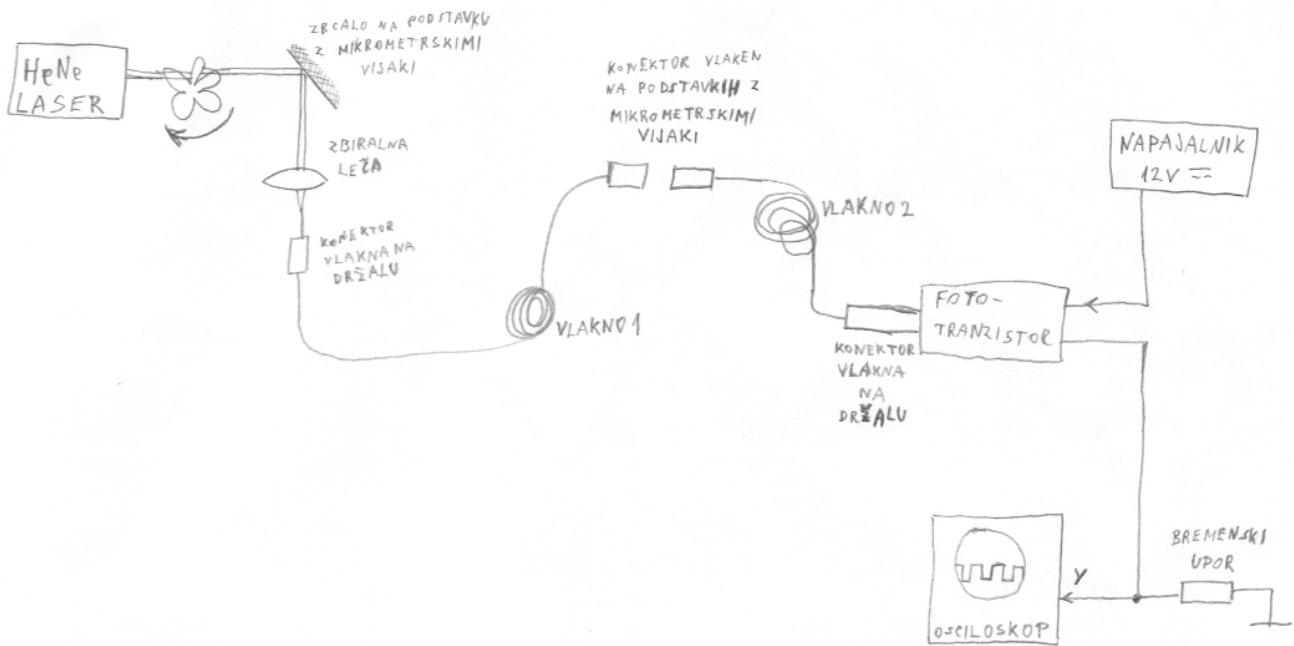
Na izhodu mnogorodovnega vlakna je svetloba nepolarizirana.

Numerična apertura mnogorodovnega vlakna je večja kot numerična apertura enorodovnega vlakna. Iz tega sledi, da lahko z mnogorodovnim vlaknom zajamemo več svetlobe.

Mnogorodovno vlakno ločimo od enorodovnega vlakna po numerični aperturi vlakna in premerom sredice.

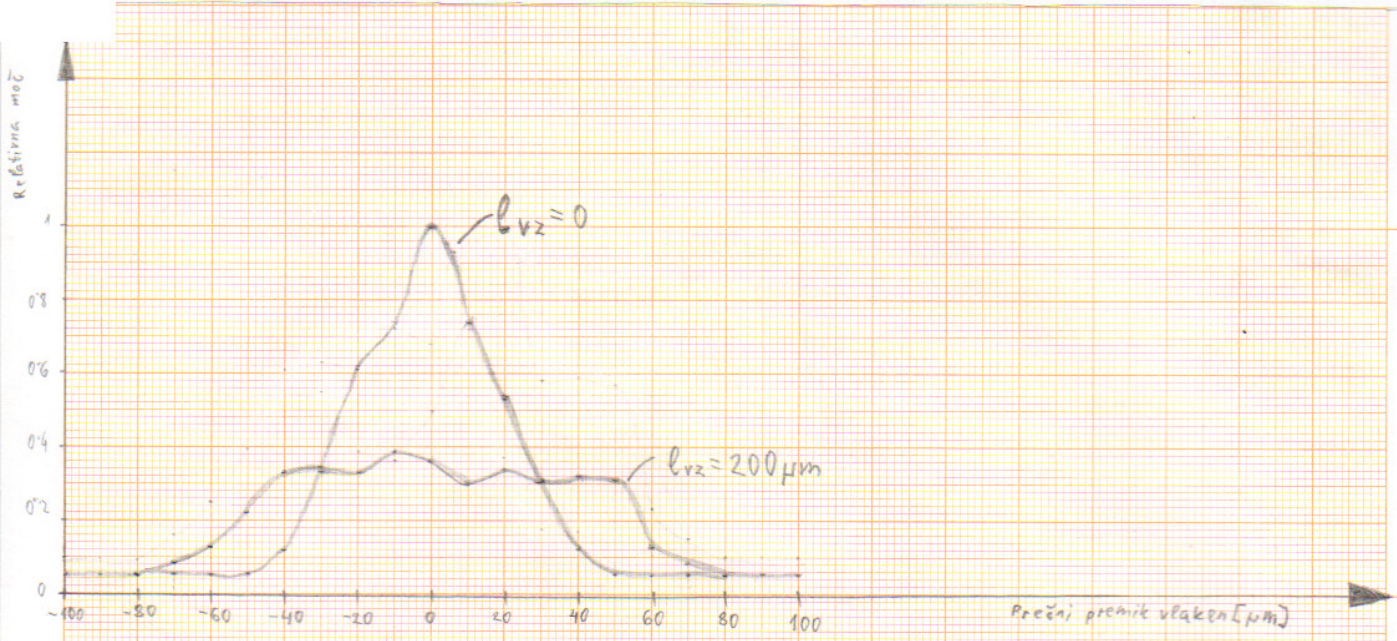
Pri vlaknu s stopničastim lomnim likom in paraboličnim lomnim likom se razlikujeta vzorca na zaslonu v tem, da je na projekciji vlakna s paraboličnim lomnim likom, rob viden zrnato. Stopničast lomni lik ima na isti razdalji, projekcijo bolj ostro in večjo ločljivost \Rightarrow vidi se več pikic.

VAJAG: STIČNO SLABLJENJE MED MNOGORODOVNIMA VLAKNOMA

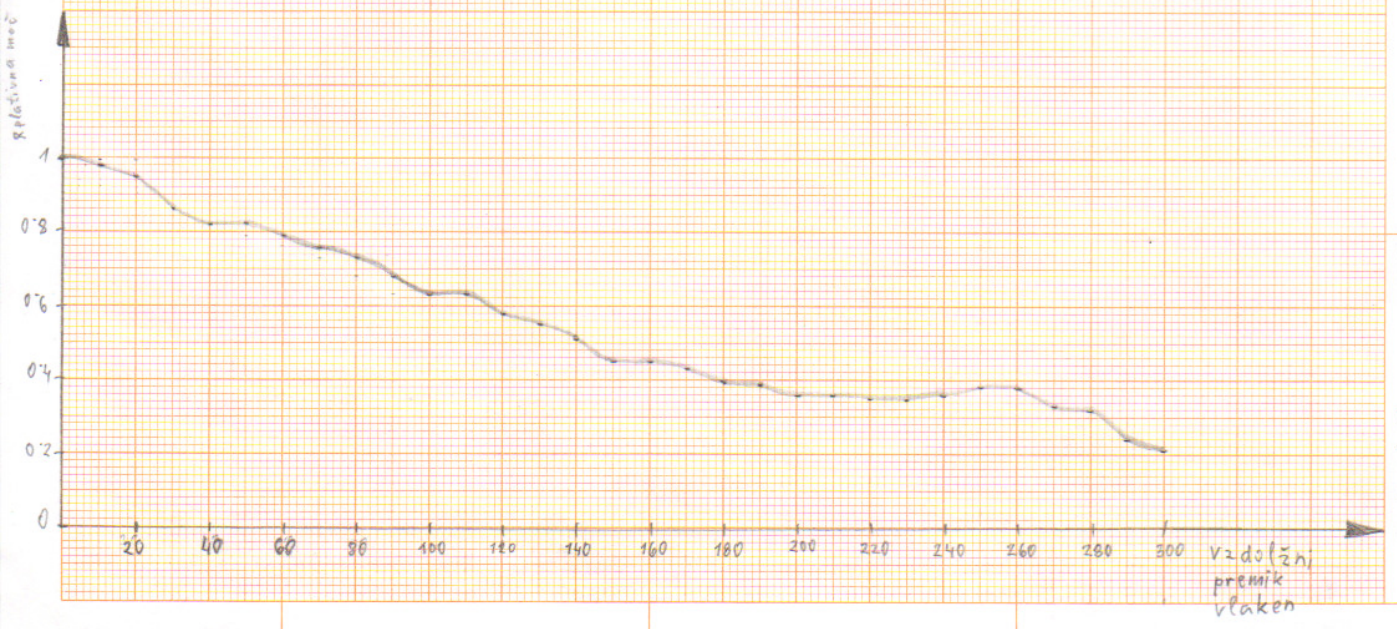


Ocenjeni premer jedra optičnega vlakna je okoli $50 \mu\text{m}$.

Iz rezultatov je razvidno, da na moč najbolj vpliva prečni premik vlaken, kar je pomembno pri izdelavi konektorskih spojev.



Graf: relativna moč v odvisnosti od prečnega premika vlaken



Graf: relativna moč v odvisnosti od vzdolžnega premika vlaken

VAJA 6. – Stično slabljenje med mnogorodovnimi vlaknoma

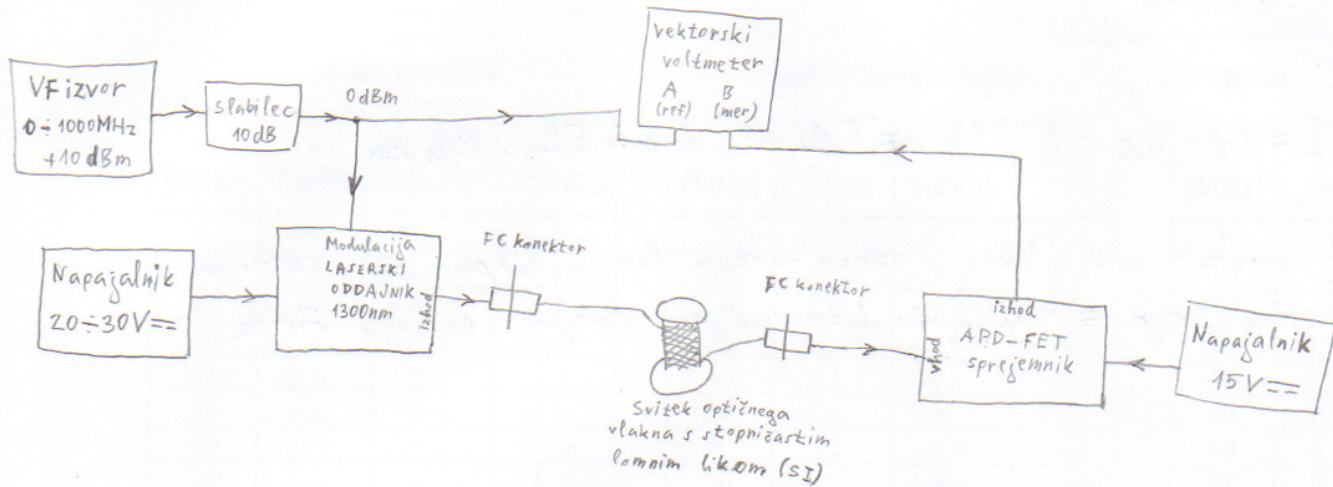
Vzdolžni premik		
L_{vz} [μm]	Izhodna napetost [mV]	
0	37,40	1
10	36,70	0,98
20	35,50	0,95
30	32,30	0,86
40	30,40	0,81
50	30,30	0,81
60	28,80	0,79
70	28,60	0,76
80	27,43	0,73
90	25,40	0,68
100	23,70	0,63
110	23,40	0,63
120	21,60	0,58
130	20,60	0,55
140	19,05	0,51
150	17,00	0,45
160	16,80	0,45
170	16,00	0,43
180	15,00	0,40
190	14,70	0,39
200	13,30	0,36
210	13,30	0,36
220	13,20	0,35
230	13,20	0,35
240	13,50	0,36
250	14,20	0,38
260	14,10	0,38
270	12,50	0,33
280	12,00	0,32
290	9,10	0,24
300	7,90	0,21

Relativna moč

Prečni premik pri $L_{vz}=0 \mu\text{m}$		
L_{pr} [μm]	Izhodna napetost [mV]	
-100	1,90	0,053
-90	1,90	0,053
-80	2,00	0,055
-70	2,00	0,055
-60	2,00	0,055
-50	2,00	0,055
-40	4,20	0,12
-30	12,50	0,35
-20	22,40	0,61
-10	26,00	0,72
0	36,00	1
10	26,50	0,74
20	18,00	0,53
30	11,00	0,31
40	4,50	0,125
50	2,00	0,055
60	2,00	0,055
70	2,00	0,055
80	2,00	0,055
90	1,90	0,053
100	1,90	0,053

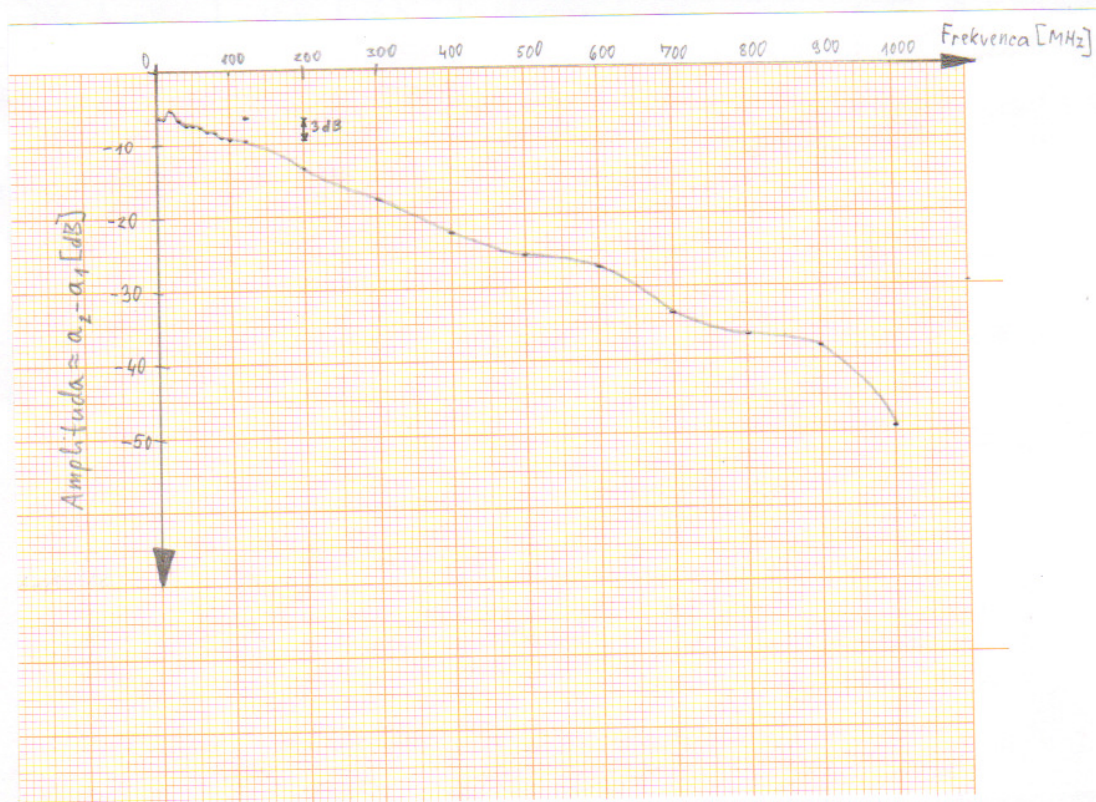
Prečni premik pri $L_{vz}=200 \mu\text{m}$		
L_{pr} [μm]	Izhodna napetost [mV]	
-100	2,00	0,055
-90	2,00	0,055
-80	1,90	0,052
-70	3,00	0,083
-60	4,80	0,13
-50	7,70	0,21
-40	11,80	0,33
-30	12,20	0,34
-20	11,90	0,33
-10	14,20	0,39
0	13,20	0,36
10	13,00	0,50
20	19,30	0,54
30	11,20	0,31
40	11,40	0,32
50	11,00	0,31
60	4,50	0,125
70	2,80	0,078
80	2,00	0,055
90	2,00	0,055
100	2,00	0,055

VASA 9: FREKVENČNI PAS MNOGORODOVNEGA GRADIENTNEGA VLAKNA



Frekvenčna meja, kjer odziv sistema upade za 3dB je 120 MHz

Graf: Izmerjeni frekvenčni odziv vlakna zaradi mnogorodovne disperzije



Izračun disperzijskega koeficienta merjenega vlakna:

$$B = 120 \text{ MHz}$$

$$l = 493,24 \text{ m}$$

$$D = B \cdot l = 120 \cdot 10^6 \cdot 493,24 = 5,92 \cdot 10^{10} \text{ Hz} \cdot \text{m} \approx 59,2 \text{ MHz} \cdot \text{km}$$

Uporabili smo vlakno s stopničastim lomnim likom, pri katerem se valovi širijo z različnimi hitrostmi, kar omejuje pasovno širino.

VAJA 9. – Frekvenčni pas mnogorodovnega gradientnega vlakna

»back to back«

f [MHz]	A [dBm]	B [dBm]	B-A [dB] = a_2
1	-6,4	-8,1	-1,7
10	-6,6	-6,9	-0,3
20	-6,8	-6,1	-0,7
30	-6,6	-6,5	-0,1
40	-6,4	-7,7	-1,3
50	-6,6	-8,4	-1,8
60	-6,8	-7,2	-0,4
70	-7,0	-6,6	0,4
80	-7,1	-7,5	-0,4
90	-7	-8	-1
100	-6,8	-7,8	-1
200	-6,4	-7,8	-1,4
300	-6,2	-7,1	-0,9
400	-6,6	-9,4	-2,8
500	-7,0	-11,2	-4,2
600	-7,8	-12,8	-5
700	-8,2	-13,2	-5
800	-8,0	-13,1	-5,1
900	-7,7	-13,7	-6
1000	-6,9	-6,9	0

»back to back« + kolut

f [MHz]	A [dBm]	B [dBm]	B-A [dB] = a_2
1	-6,4	-14,6	-8,2
10	-6,6	-13,4	-6,8
20	-6,8	-12,8	-6
30	-6,6	-13,5	-6,9
40	-6,4	-14,8	-8,4
50	-6,6	-16	-9,4
60	-6,8	-14,9	-8,1
70	-7	-14,7	-7,7
80	-7,1	-15,8	-8,7
90	-7	-17	-10
100	-6,8	-17	-10,2
200	-6,4	-21	-14,6
300	-6,2	-25	-18,8
400	-6,6	-31,6	-25
500	-7	-37	-30
600	-7,8	-40	-32,2
700	-8,2	-47	-38,8
800	-8	-50	-42
900	-7,7	-52	-44,3
1000	-6,9	-56	-49,1

kolut

f [MHz]	$a_2 - a_1$ [dB]
1	-8,5
10	-6,5
20	-5,3
30	-6,8
40	-7,1
50	-7,6
60	-7,7
70	-8,1
80	-8,3
90	-9
100	-9,2
200	-13,2
300	-17,9
400	-22,2
500	-25,8
600	-27,2
700	-33,8
800	-36,3
900	-38,3
1000	-49,1

A... jakost signala merjena na VF izvoru
 B... jakost signala merjena na optičnem sprejemniku

dolžina koluta + dolžina priključnih vrvic = 498,8 m

dolžina priključnih vrvic = 5,56 m

dolžina koluta = 493,24 m

Dolžina kolata + priključnih vrvic:

Frekvenčni potek
merilne opreme

$$\begin{cases} f_1 = 100 \text{ MHz} \\ f_2 = 100,401 \text{ MHz} \\ \varphi_{f_1} = \varphi_{f_2} = 104^\circ \end{cases}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 100,401 - 100 = 0,401 \text{ MHz} = 401 \text{ kHz}$$

$$n = 1,5$$

$$c = \frac{c_0}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,5} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$l_{\text{prikl}} = \frac{c}{\Delta f} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{401 \text{ kHz}} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ m}}{401 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{s}} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot s}{401 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ m}}{401 \cdot 10^3} \approx 498,8 \text{ m}$$

Dolžina priključnih vrvic:

Frekvenčni potek
merilne opreme

$$\begin{cases} f_1 = 100 \text{ MHz} \\ f_2 = 136 \text{ MHz} \\ \varphi_{f_1} = \varphi_{f_2} = 104^\circ \end{cases}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 36 \text{ MHz}$$

$$n = 1,5$$

$$c = \frac{c_0}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,5} = 2 \cdot 10^8$$

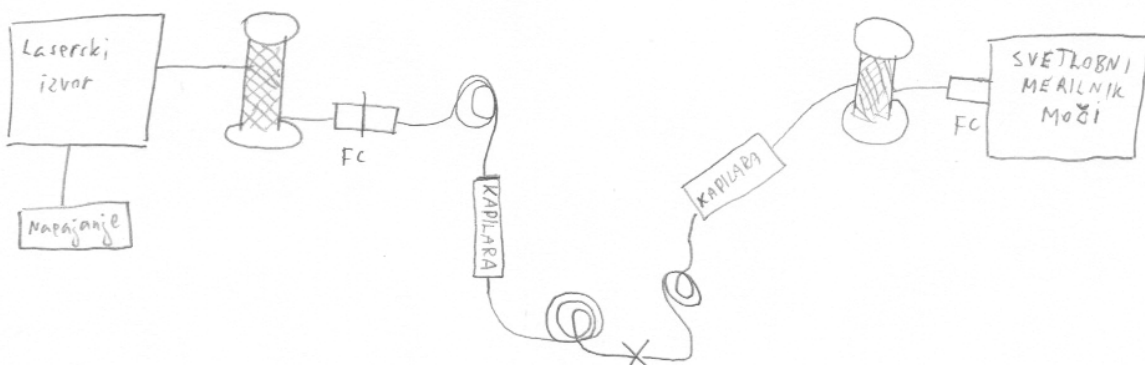
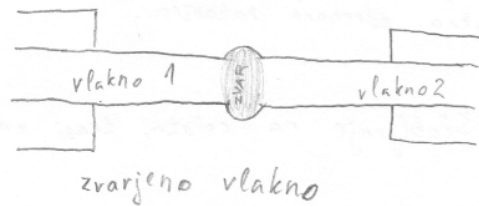
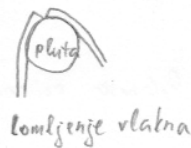
$$l_p = \frac{c}{\Delta f} = \frac{2 \cdot 10^8}{36 \cdot 10^6} \approx 5,56 \text{ m}$$

Dolžina kolata:

$$l = l_{\text{prikl}} - l_p = 498,8 - 5,56 = 493,24 \text{ m}$$

VAJA 11: REZANJE IN SPAJANJE OPTIČNIH VLAKEN

Na postavljeni optični zvezi izvor - vlakna s kapilarnimi spoji - svetlobni merilnik moči, izmerimo izhodno moč laserskega oddajnika (izvor) in izhodno moč zaporedja vlaken. Vlakno z lomimo in odrežemo predhodno narejeni spoj dveh vlaken. Dobljena konca vlakna očistimo in odstranimo zaščitni sloj/primarno zaščito vlakna, s keramičnim nožem naredimo zarezo in z ukrivljanjem zarezanega vlakna na pluti; poskušamo doseči pravokotni lom. Uspeh/neuspeh preverimo pod mikroskopom. Po uspešnem pravokotnem lomu vlakni vstavimo v optični varilnik vlaken in naredimo zvar. Izvedemo meritev slabljenja vlakno, z novim zvarom in izračunamo slabljenje novega zvara glede na predhodnjega.



$$P_{\text{Laserja}} = 1,5 \text{ mW}$$

$$P_{\text{ish.vlakna}} = 0,9 \text{ mW}$$

$$a = ?$$

$$a = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{Laser}}}{P_{\text{ish.vlakna}}} = 10 \cdot \log \left(\frac{1,5}{0,9} \right) = \underline{\underline{2,218 \text{ dB}}}$$

$$a [\text{mW}] = P_{\text{Laserja}} - P_{\text{ish.vlakna}} = 1,5 - 0,9 = 0,6 \text{ mW}$$

Pred varjenjem je treba odstraniti primarno izolacijo zato, da pri spajanju dveh vlaken ne pride v spoj še lomni količnik izolacije in s tem visoko slabljenje v optični spoj.

Razlika med FC-PC in FC-AC konektorji je v tem, da so FC-AC konektorji posevno brušeni, kar zmanjša vpliv odbitih valov.

Preden razmaknjena konca zvarimo, jih očistimo s kratkotrajnim lokom. Pri spajanju konektorjev moramo paziti predvsem na to, da sta oba dva varjena dela vlakna odrezana natančno.

Slabljenje na celotni trasi znaša 0,6 mW, oziroma 2,218 dB.

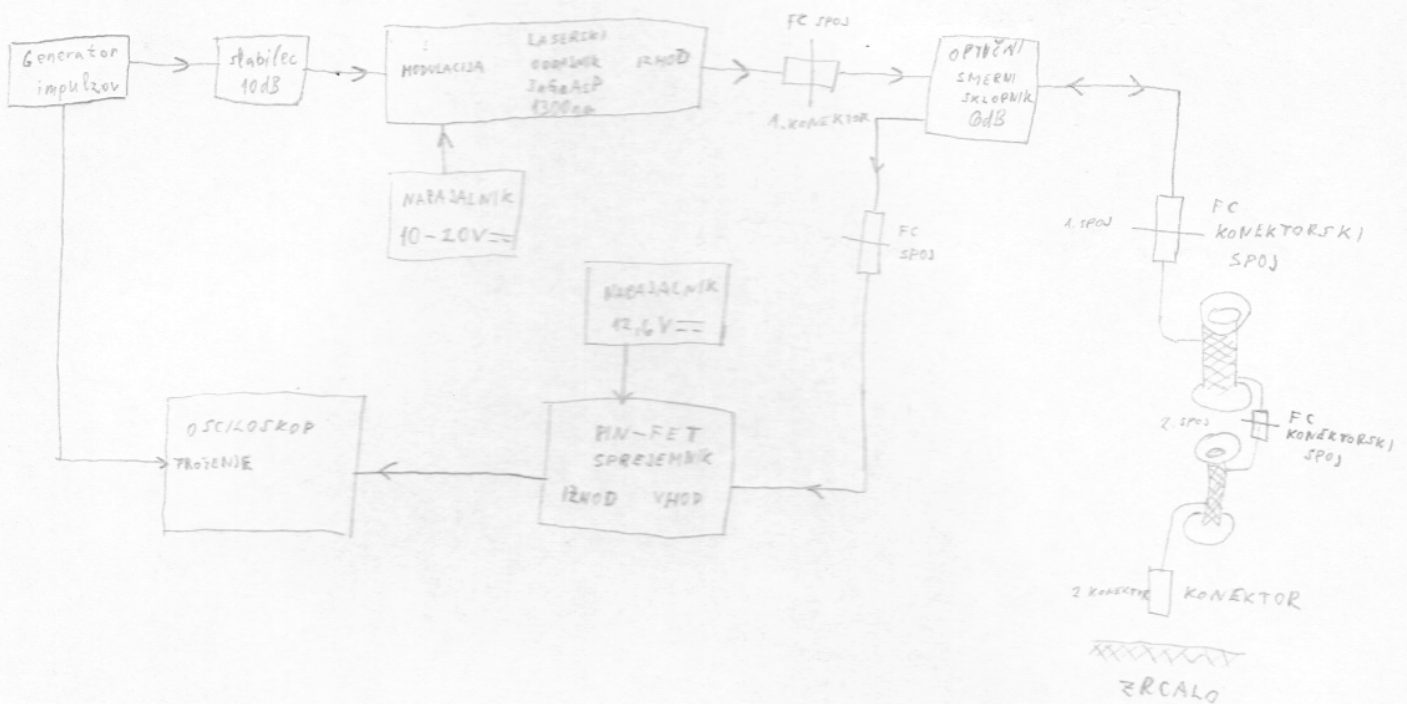
Spajamo lahko vlakna, če velja $d_1 \leq d_2$ in $NA_1 \leq NA_2$



VAJA 13: OPTIČNI REFLEKTOMETER V ČASOVNEM PROSTORU

Module optične zveze povežemo po spodnji skici.

Vklopimo oddajnik, sprejemnik in ostale instrumente. Na generatorju impulzov nastavimo širino impulza in s tem ločljivost OTDR-ja. Izmerimo čas med odboji in izračunamo dolžino merjenih vlaken.



Meritev:

1. KONEKTOR - 1. SPOJ : $7,2 \mu s = t_1$

1. SPOJ - 2. SPOJ : $5,2 \mu s = t_2$

2. SPOJ - 2. KONEKTOR : $4,8 \mu s = t_3$

Izračun:

$$v_{\text{VLAKNA}} = \frac{c}{n_{\text{VLAKNA}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,5} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Dolžine kolutor:

$$1. \text{ kolut: } l = \frac{t_1}{2} \cdot v_{\text{VLAKNA}} = \frac{7,2}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^8 = 720 \text{ m}$$

$$2. \text{ kolut: } l = \frac{t_2}{2} \cdot v_{\text{VLAKNA}} = \frac{5,2}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^8 = 520 \text{ m}$$

$$3. \text{ kolut: } l = \frac{t_3}{2} \cdot v_{\text{VLAKNA}} = \frac{4,8}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^8 = 480 \text{ m}$$

Ločljivost: 0,2 μ s / 20 m

Optimalna dolžina impulza je 400 ns.

VAJA 14: MODULACIJSKA KRIVULJA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA

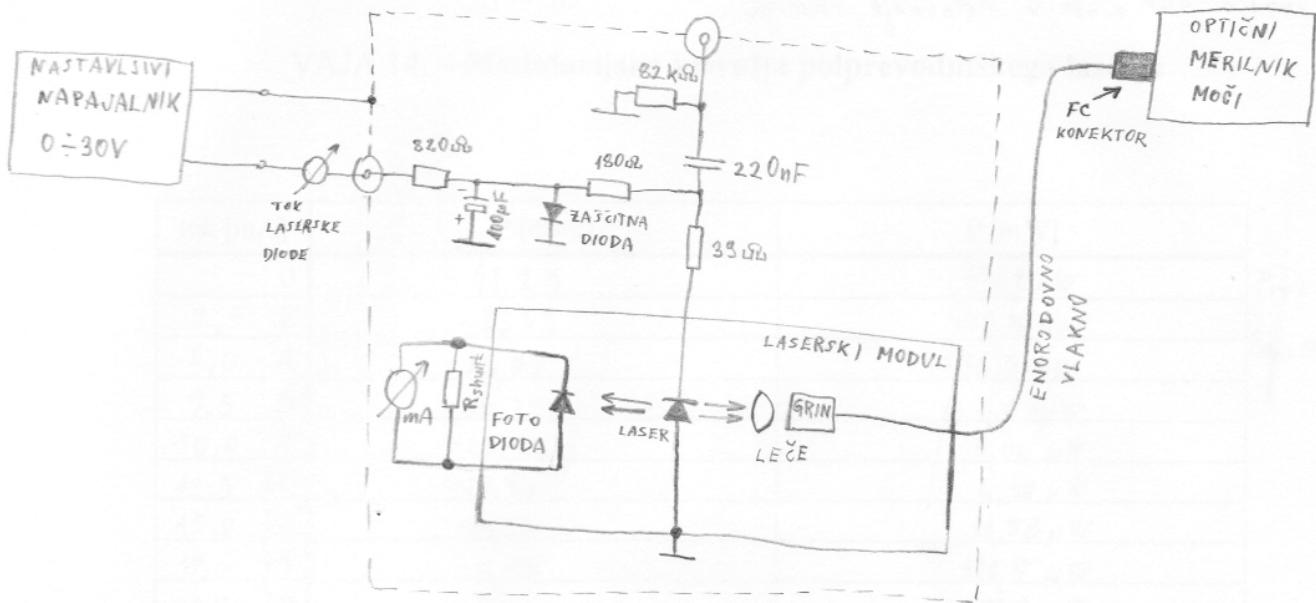
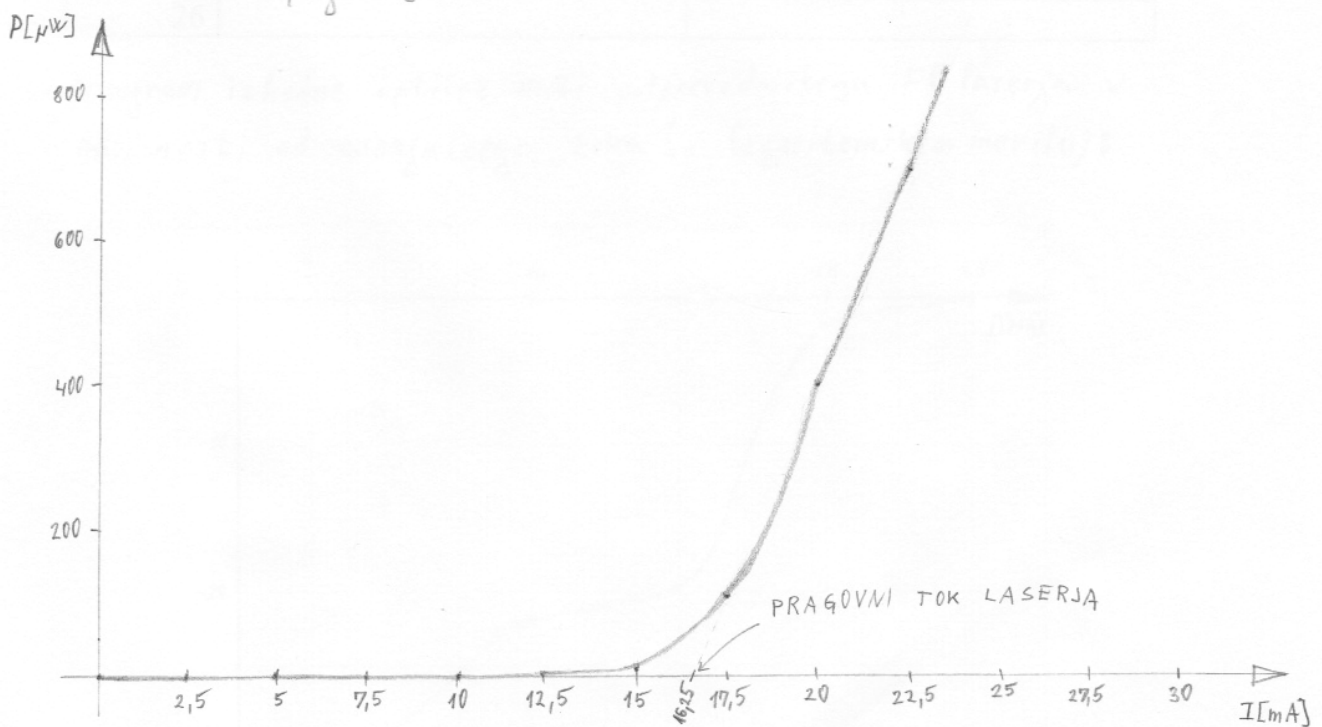


Diagram izhodne optične moči polprevodniškega FP laserja v odvisnosti od napajalnega toka (v linearnem merilu):



Pri največjem toku začne krivulja moči strmo naraščati, kar kaže na linearnost modulacije izhodne moči.

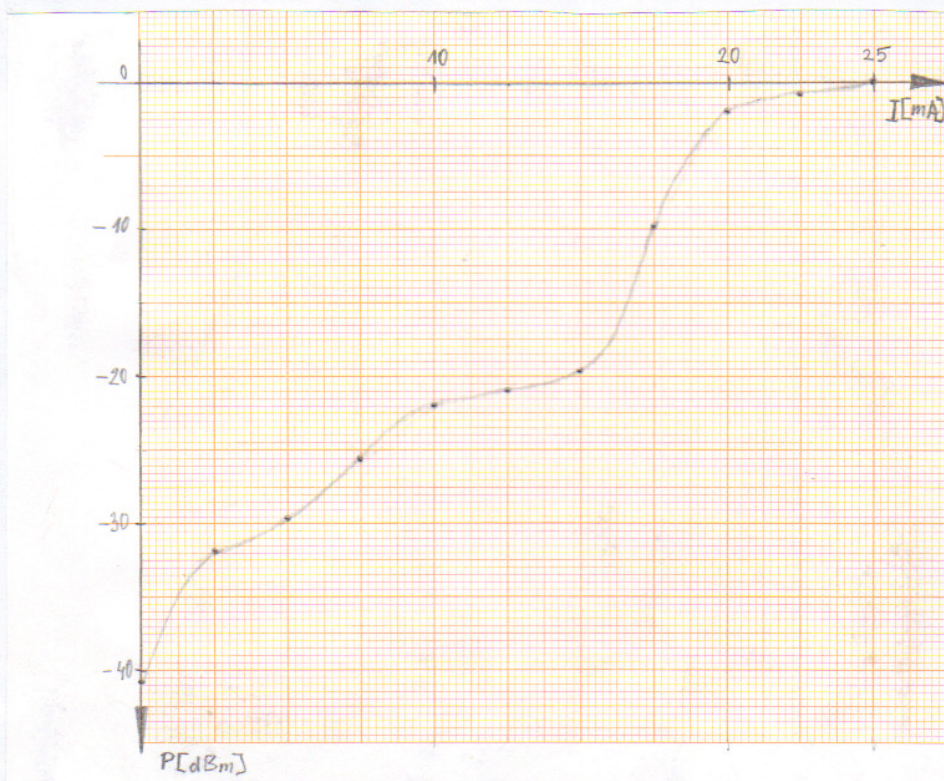
Pragovni tok laserja je meja, kjer polprevodniški laser preide iz delovanja LED diode v delovanje laserja

VAJA 14. – Modulacijska krivulja polprevodniškega laserja

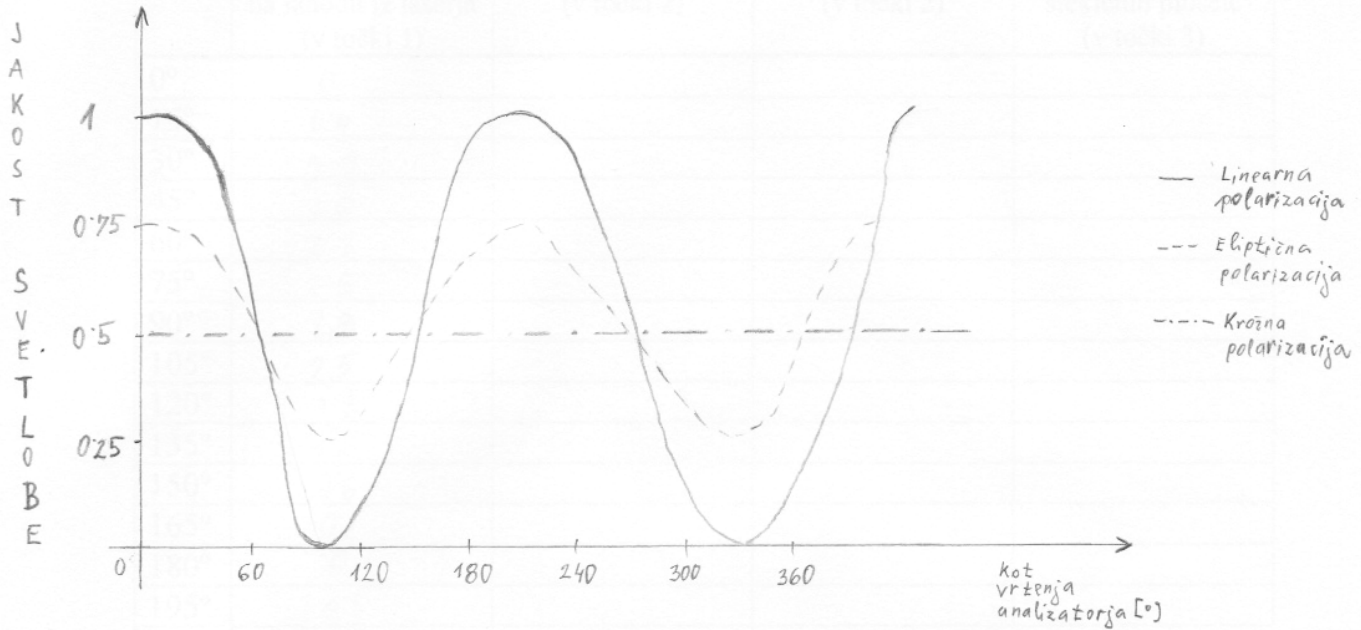
tok [mA]	P [dBm]	P [mW]
0	-41,29	74,3 nW
2,5	-33,49	448,4 nW
5,0	-29,08	1236,4 nW
7,5	-26,22	2,53 μW
10,0	-23,32	4,06 μW
12,5	-21,84	6,40 μW
15,0	-19,36	11,58 μW
17,5	-9,55	110,7 μW
20,0	-3,92	406,0 μW
22,5	-1,46	713,3 μW
25,0	0,1	1023,3 μW
27,5	1,28	1341,0 μW
30,0	NE DOPUŠČA	POVIŠANJA
26		

$P_{ref} = 1mW$
 $P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{izhodna}}{P_{ref}} \right)$

Diagram izhodne optične moči polprevodniškega FP laserja v odvisnosti od napajalnega toka (v logaritemskem merilu):



VAJA 15: Meritve polarizacije svetlobe



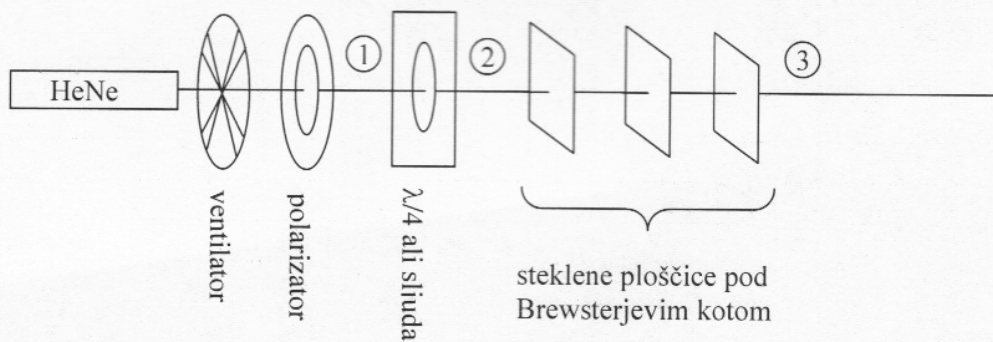
Debelino $\frac{\lambda}{4}$ ploščice izberemo tako, da razlika poti med hitrejšim in počasnejšim valom ustreza četrtini valovne dolžine.

Levo ali desno krožno polarizacijo z $\frac{\lambda}{4}$ ploščico dosežemo z zasukom ploščice za $\frac{\pi}{4}$.

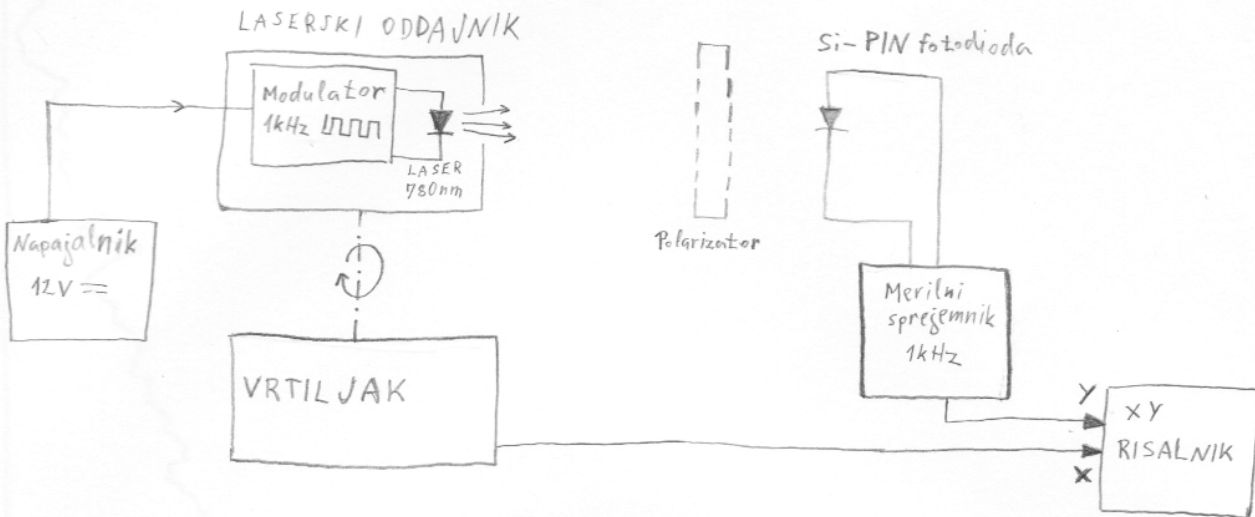


VAJA 15. – Meritve polarizacije svetlobe

kot	Linearna polarizacija na izhodu iz laserja (v točki 1)	Eliptična polarizacija (v točki 2)	Krožna polarizacija (v točki 2)	Polarizacija na izhodu iz steklenih ploščic (v točki 3)
0°	0			
15°	0,4			
30°	0,9			
45°	1,6			
60°	2,3			
75°	2,8			
90°	2,8			
105°	2,5			
120°	1,8			
135°	1,2			
150°	0,6			
165°	0,2			
180°	0			
195°	0,4			
210°	0,9			
225°	1,6			
240°	2,3			
255°	2,8			
270°	2,8			
285°	2,5			
300°	1,8			
315°	1,2			
330°	0,6			
345°	0,2			
360°	0			



VAJA 17: SMERNI DIAGRAM SEVANJA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA



Snop izhodne svetlobe iz čipa polprevodniške laserske diode ima obliko elipse.

Polprevodniški laser, ki niha na večih rodovih ima snop svetlobe ožji, in dobimo na izrisu grafa še več vrhov.

Polarizacija laserske svetlobe se spreminja s pozicijo laserja. Pri laserju je valovod načrtovan tako, da niha samo na osnovnem prečnem rodu.

Smerni diagram v ravnini H je veliko širši, kot pri ravnini E , ki je vzporedna z ravninami plasti čipa. Na nagibanost diagramov vplivajo odboji v notranjosti in okolici laserskega čipa.

Ret. $\frac{1}{\text{min}}$



E Ravnina
⑪

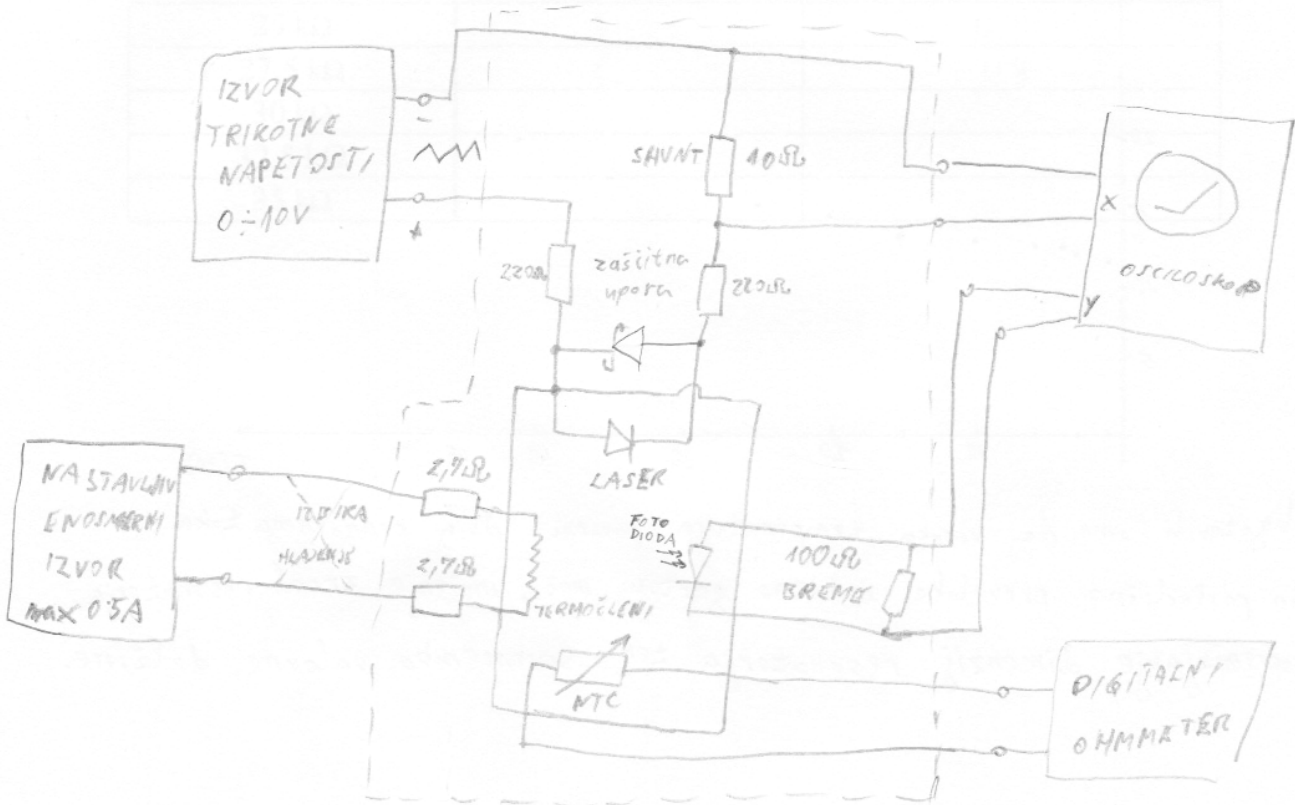
H Ravnina
①

0°

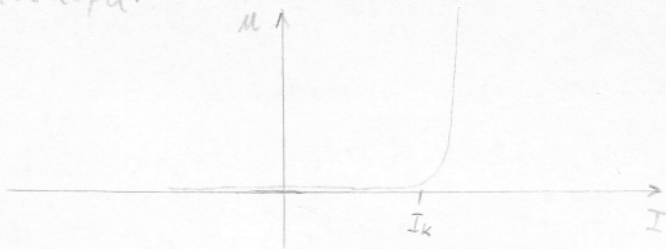
45°

VAJA 18: Temperaturna odvisnost pragovnega toka laserja

Umerimo vodoravno skalo na osciloskopu za tok laserske diode. Vežje priključimo brez toplotne črpalke. Nastavimo izvor trikotne napetosti, da na osciloskopu opazimo prag laserja, to je koleno nad katerim začne izhodna moč hitro naraščati. Na izvor priključimo peltier-ovo črpalko, opazimo spreminjanje upornosti NTC termistorja in premikanje kolena krivulje laserja. Ko se temperatura laserske diode ustali, odčitamo upornost termistorja in pragovni tok laserja.

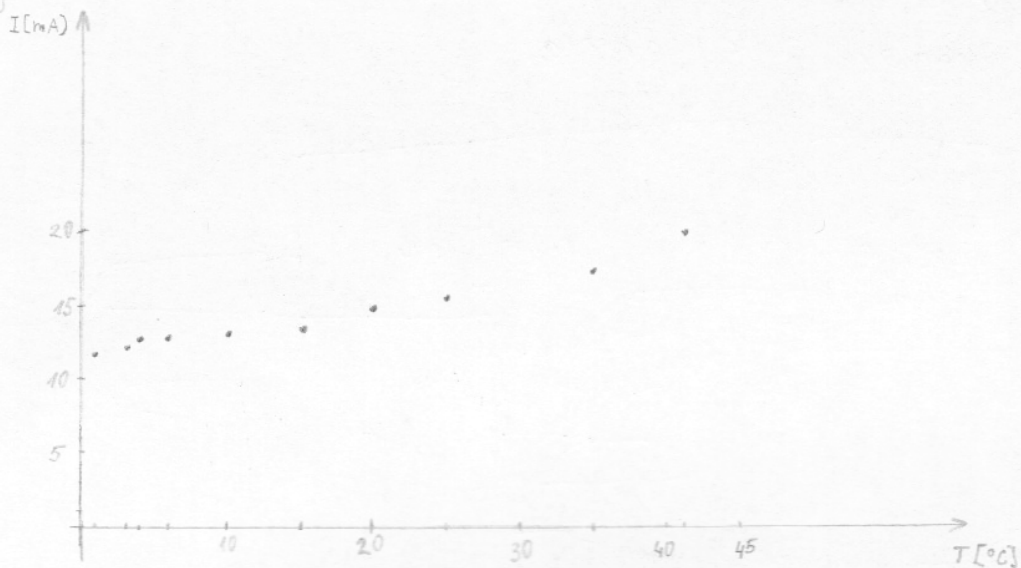


Določite merske enote za vodoravno in navpično skalo zaslona osciloskopa:



Tok skozi diodo merimo z žagasto napetostjo

Graf temperaturne odvisnosti od pragovnega toka laserja:



Ugotovili smo, da visoka temperatura povzroči dvig pragovnega toka in posledično preveliko optično gostoto moči, uničenje zrcal resonatorja, spreminjanje dimenzij resonatorja ter spremembo valovne dolžine.

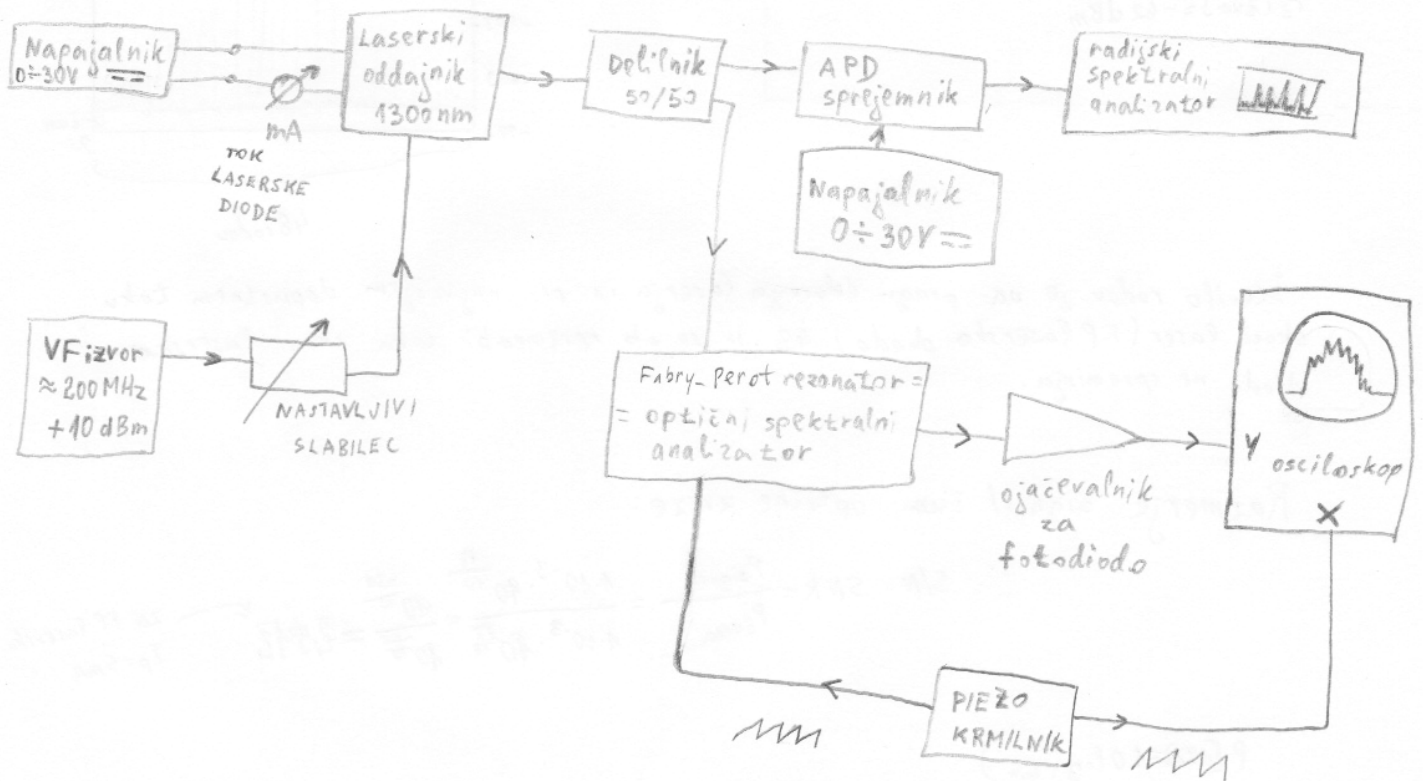
VAJA 18. – Temperaturna odvisnost pragovnega toka laserja

Upornost NTC [kΩ]	Temperatura [°C]	Kolenski tok [mA] <small>[10 Ω]</small>
5 kΩ	41	20
7,5 kΩ	35	17,4
10 kΩ	25	15,6
12,5 kΩ	20	14,8
15 kΩ	15	13,6
17,5 kΩ	10	13,0
20 kΩ	6	12,8
22,5 kΩ	4	12,6
25 kΩ	3	12,2
27,5 kΩ	1	11,8
30 kΩ		
32,5 kΩ		
35 kΩ		

VAJA 21: MERITEV JAKOSTNEGA ŠUMA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA

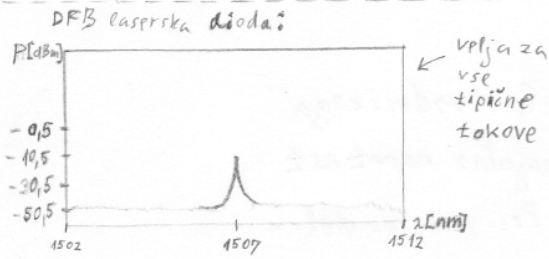
Na osciloskopu opazujemo delovanje polprevodniškega laserja in s tem optični spekter laserja. Napajalno napetost laserskega oddajnika zvišujemo od 0V dalje. Pri pragu delovanja laserja si zapišemo vrednost pragevnega toka in število rodov. Če smo pravilno nastavili napetost na sprejemniku (plazovni diodi), opazimo ob prekoračitvi praga toka laserja povečanje šuma. Pri različnih vzdolžnih rodovih je tudi jakost šuma laserja različna.

Vključimo modulacijo laserja. Na spektralnem analizatorju dobimo močno črto na frekvenci VF izvora. Optični spekter laserske svetlobe se malo spremeni.



Kot laserski oddajnik smo uporabili
FP lasersko diodo in DFB lasersko diodo.

Skica optičnega spektra FP laserske diode pri različnih tipičnih tokovih:



FP laserska dioda:

$I_p = 5 \text{ mA}$
 $P_s[\lambda = 1535.132 \text{ nm}] = -31.38 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -58 \text{ dBm}$

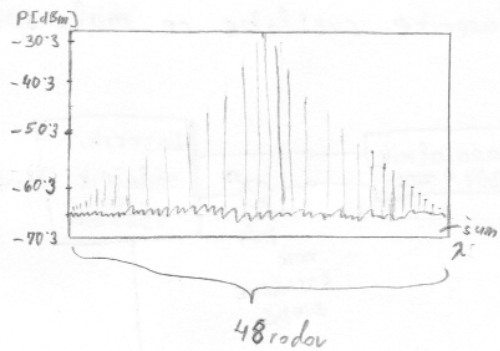
$I_p = 10 \text{ mA}$
 $P_s[\lambda = 1535.313 \text{ nm}] = -19.6 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -65 \text{ dBm}$

$I_p = 15 \text{ mA}$
 $P_s[\lambda = 1535.32 \text{ nm}] = -16.5 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -62 \text{ dBm}$

$I_p = 5 \text{ mA}$
 prag delovanja laserja $P_s[\lambda = 1507 \text{ nm}] = -31 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -65 \text{ dBm}$
 št. rodov = 48

$I_p = 10 \text{ mA}$
 $P_s[\lambda = 1507 \text{ nm}] = -19.9 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -65 \text{ dBm}$
 št. rodov = 48

najvišji dopustni tok skozi laser $I_p = 15 \text{ mA}$
 $P_s[\lambda = 1507 \text{ nm}] = -17.6 \text{ dBm}$
 $P_s[\sum \text{um}] = -66 \text{ dBm}$
 št. rodov = 48



Število rodov je na pragu delovanja laserja in pri najvišjem dopustnem toku skozi laser (FP lasersko diodo) 48 in se ob spremembi toka skozi lasersko diodo ne spreminja.

Razmerje signal/sum optične zveze:

$$S/N = \text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{suma}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{\frac{P_s}{10}}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{\frac{P_{\sum}}{10}}} = \frac{10^{\frac{-31}{10}}}{10^{\frac{-65}{10}}} = 2512$$

← za FP lasersko diodo, $I_p = 5 \text{ mA}$

$$P [\text{dBm}] = 10 \log \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

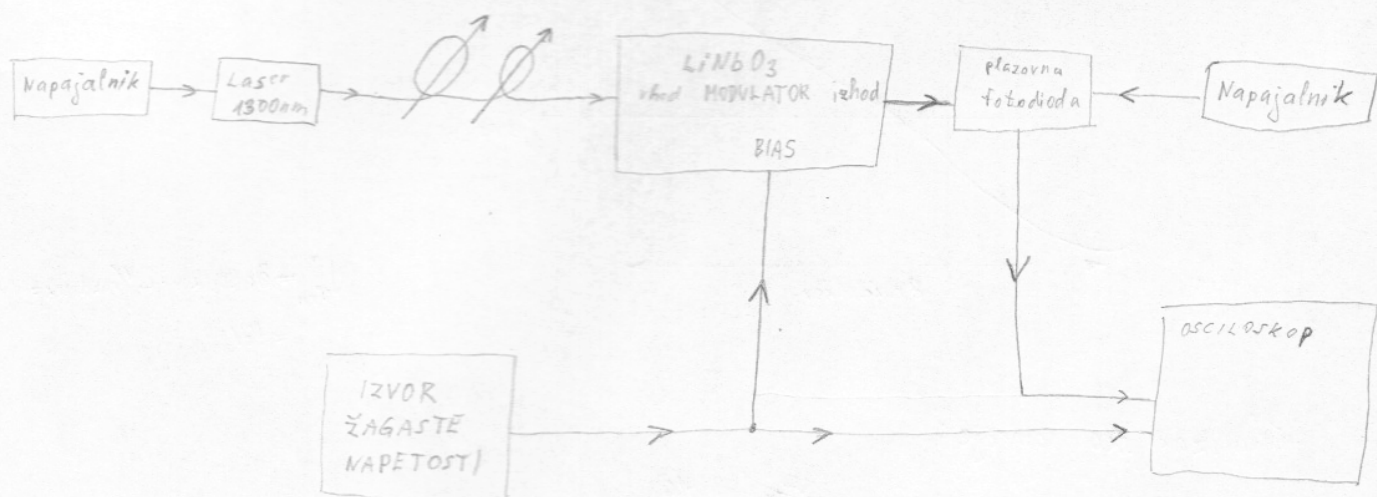
$$\Downarrow$$

$$P = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{\left(\frac{P [\text{dBm}]}{10} \right)}$$

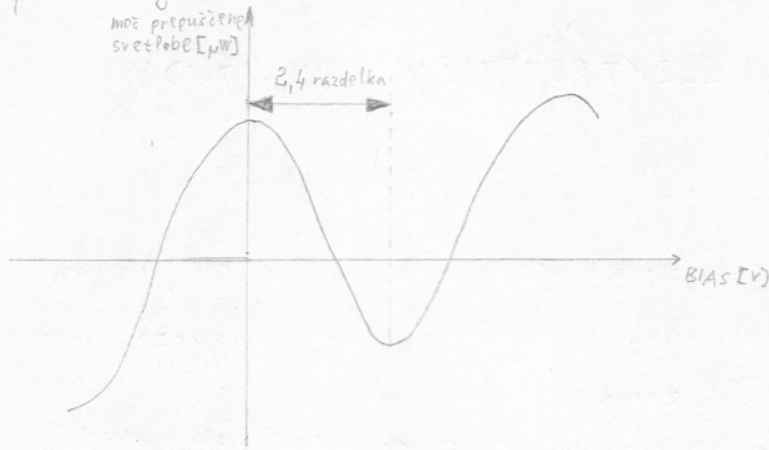
VAJA 22: LiNbO_3 ELEKTROOPTIČNI AMPLITUDNI MODULATOR

Po pravilni priključitvi izvora svetlobe (laserja) in sprejemnika svetlobe (plazovna fotodioda), priključimo izvor žagaste napetosti na krmilni vhod (BIAS) modulatorja.

Na plazovni fotodiodi opazujemo kako se spreminja moč prepuščene svetlobe skozi modulator, ob TM in TE polarizaciji na vходу modulatorja. Izmerimo krivuljo modulatorja za TE in TM polarizacijo. Polarizacijo spreminjamo s spreminjanjem naklona optičnega vlakna, navitega v obliki zanke.



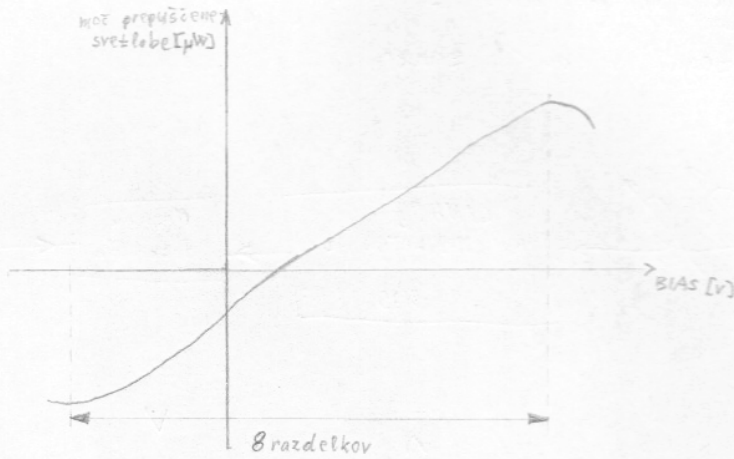
TE polarizacija



Izmerimo U_{π} (razlika med maksimumom in minimumom odziva modulatorja) za obe polarizaciji (TM in TE), pri valovni dolžini svetlobe 1300nm.

$$U_{\pi_{TE}} = 2,4 \text{ razdelka} \cdot 2 \text{ V/razdelek} = 4,8 \text{ V}$$

TM polarizacija



$$U_{\pi_{TM}} = 8 \text{ razdelkov} \cdot 2 \text{ V/razdelek} = 16 \text{ V}$$

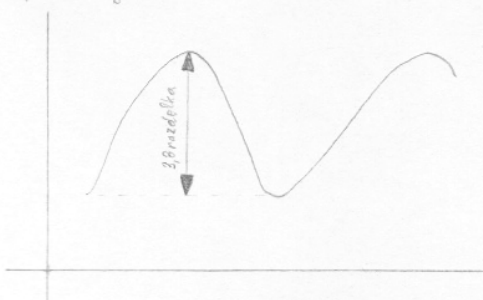
Polarizacijsko območje:

$$k = \frac{U_{\pi_{TM}}}{U_{\pi_{TE}}} = \frac{16}{4,8} = 3,33$$

Napetostna razlika:

$$\Delta U_{\pi} = U_{\pi_{TM}} - U_{\pi_{TE}} = 16 - 4,8 = 11,2 \text{ V}$$

Ugasno razmerje:
TE polarizacija



$$K_{\text{on/off}} = 3,8 \text{ razdelka} \cdot 0,5 \text{ /razdelek} = 1,9$$

Slabost polarizatorja je v tem, da je odvisen od polarizacije svetlobnega žarka.

VAJA 23: AKUSTO - OPTIČNI POJAV

Izvor svetlobe je HeNe laser. Zaradi majhnih odklonskih kotov, uporabimo za zaslon zid sobe.

RAMAN-NATHOV UKLON

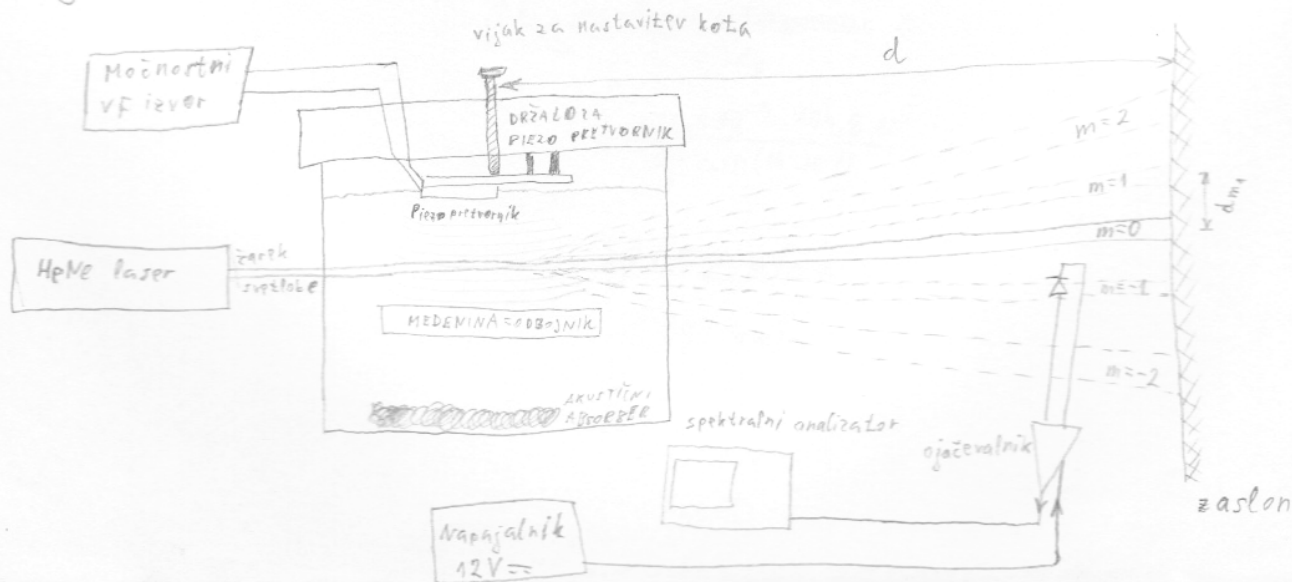
Poizkus izvajamo v stekleni posodi, napoljeni z vodo. Piezo-električni pretvornik nam služi kot izvor akustičnega valovanja. Napajamo ga z visokofrekvenčnim močnostnim izvorom in ga uporabljamo na njegovi mehanski resonančni frekvenci.

Napravo nastavimo tako, da dobimo na zaslonu čim več uklonjenih žarkov. Maksimum uklonov iščemo z nastavljanjem kota med pretvornikom in žarkom. Če je potrebno, popravimo tudi frekvenco generatorja.

Spreminjamo frekvenco generatorja. Pri povečevanju njegove moči, se najprej pojavita žarka prvega reda in nato še žarki višjih redov.

Izmerimo razmik uklonjenih žarkov. Hitrost razširjanja zvoka v vodi izračunamo iz frekvence generatorja, valovne dolžine svetlobe in razdalje do zaslona.

Modulacijo posameznih žarkov preverimo s fotodiodo, katere je priključena na spektralni analizator. Ugotovimo da je najmočnejša modulacija (z dvojno frekvenco) na žarkih prvega reda.



$$d = 2,10 \text{ cm}$$

$$d_{m_1} = 1 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{LASER}} = 632,8 \text{ nm}$$

$$f_{\text{zvoka}} = 10 \text{ MHz}$$

$v = ?$

$$\varphi_1 = \text{arctg} \left(\frac{d_{m_1}}{d} \right) = \text{arctg} \left(\frac{1}{2,10} \right) = 4,76 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

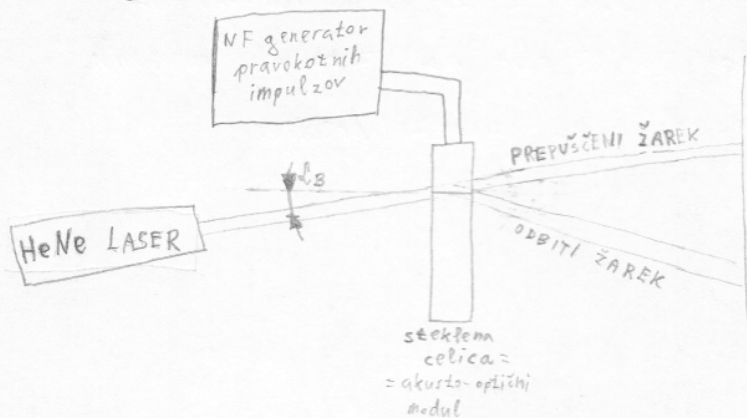
$$V_m = m \cdot \frac{\lambda_{\text{LASER}} \cdot f_{\text{zvoka}}}{\varphi_m}$$

$$V_1 = 1 \cdot \frac{\lambda_{\text{LASER}} \cdot f_{\text{zvoka}}}{\varphi_1} = 1 \cdot \frac{632,8 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^6}{4,76 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{1,329 \text{ km/s}}}$$

$$V_2 = 2 \cdot \frac{\lambda_{\text{LASER}} \cdot f_{\text{zvoka}}}{\varphi_2}$$

BRAGGOV ODBOJ

Med izvor svetlobnega žarka in zaslon postavimo modul s stekleno celico, katero krmilimo s pravokotnim signalom 0-5V nizke frekvence. To nam omogoči, da opazujemo utripanje odklonov s prostim očesom.



$$d_s = 8,5 \text{ cm}$$

$$L = 530 \text{ cm}$$

$$f_{\text{NF generator}} = 104,8 \text{ MHz}$$

$$\lambda_{\text{LASER}} = 632,8 \text{ nm}$$

$$v = ?$$

$$\alpha_B = \arctg\left(\frac{d_s}{L}\right) = \arctg\left(\frac{8,5}{530}\right) = 16 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\sin \alpha_B = \frac{\lambda}{2L} = \frac{\lambda}{2 \cdot \left(\frac{L}{f}\right)} = \frac{\lambda \cdot f}{2 \cdot v} =$$

$$v = \frac{\lambda \cdot f}{2 \cdot \sin \alpha_B} = \frac{\lambda_{\text{LASER}} \cdot f_{\text{NF generator}}}{2 \cdot \sin \alpha_B} =$$

$$= \frac{632,8 \cdot 10^{-9} \cdot 104,8 \cdot 10^6}{2 \cdot \sin(16 \cdot 10^{-3})} =$$

$$\approx 2072 \text{ m/s} =$$

$$= 2,072 \text{ km/s}$$

Razlika med Raman-Nath-ovim uklonom in Bragg-ovim odbojem je v tem, da se Bragg-ov odboj razdeli samo na prepuščeni in odbiti žarek, pri Raman-Nath-ovem uklonu pa pride do več žarkov.

Če je pot svetlobe skozi snov z zvočnim valovanjem daljša, dobimo Braggov odboj svetlobe na zračnih valovnih frontah - žarek se delno odbije, delno pa prepušti/prebije.

VAJA 28: MERJENJE POGOSTOSTI NAPAK V OPTIČNI ZVEZI

Preverimo sestavljeno povezavo instrumentov. Nastavimo fazo sukalnika, kateri nam služi kot zakarjervalnik impulzov skozi linijo. Slabljenje optičnega stabilnika nastavljamo toliko časa, dokler se ne pričnejo pojavljati napake pri prenosu, na kar nas opozori piskač, kateri se oglasi pri vsaki napaki.

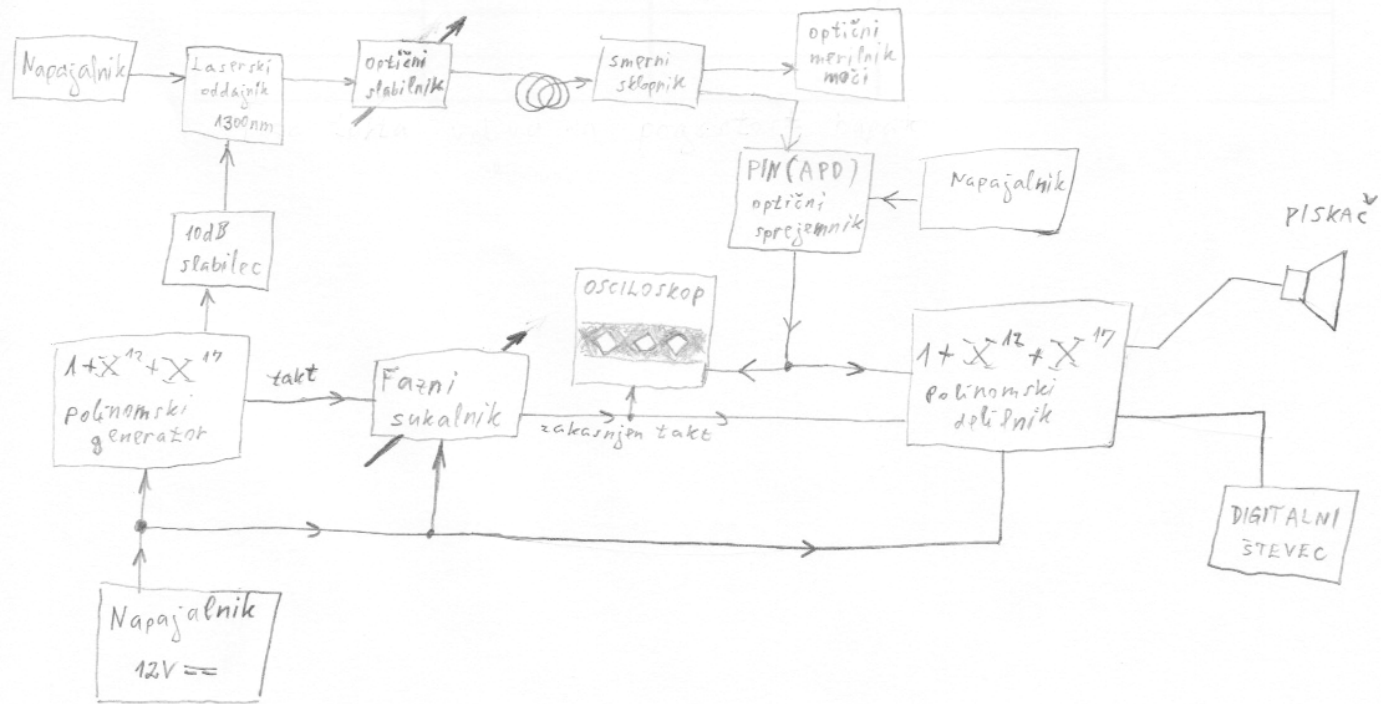
Čas ene meritve je na začetku 30 sekund. Pri meritvi, kateri število napak zelo hitro narašča, čas merjenja ustrezno zmanjšamo.

Število, katero je izpisano na digitalnem števcu zapišemo v tabelo. Prav tako zapišemo moč sprejetelega signala in čas trajanja meritve.

Iz podatkov v tabeli izračunamo pogostost napak pri prenosu skozi optično zvezo.

$$BER = \frac{\left(\frac{\text{število napak}}{1,5}\right)}{20 \text{ Mbit/s} \cdot \text{čas meritve}}$$

Narišemo graf pogostosti napak v odvisnosti od vhodne optične moči v sprejemniku.



Faza takta vpliva na pogostost napak tako, da ko večamo fazo takta, se večja tudi število napak.

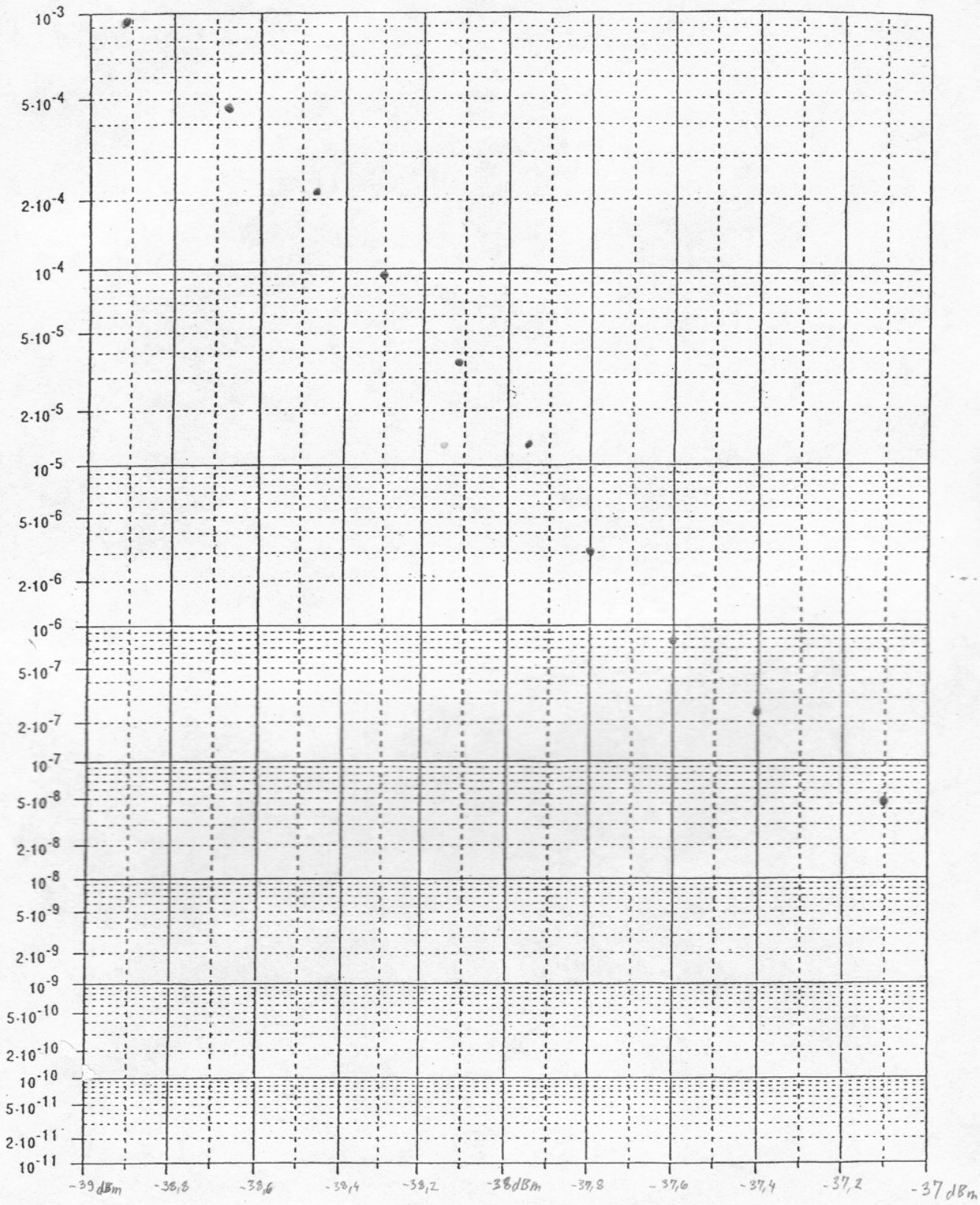
Zaporna napetost vpliva na pogostost napak s tem, ko višamo zaporno napetost, se pogostost napak manjša, očesni diagram na osciloskopu se odpira in obratno (nižamo zaporno napetost, pogostost napak se večja, očesni diagram se zapira)

Očesni vzorec se odpira kadar se večja napetost plazovne fotodiode (APD), in zapira kadar se napetost APD manjša.

VAJA 28. – Merjenje pogostosti napak v optični zvezi

Slabljenje slabilnika [dB]	Moč sprejetega signala [dBm]	Čas meritve [s]	Število napak	BER
14,4	-37,10	30	40	$4,4 \cdot 10^{-8}$
14,6	-37,4	30	208	$2,3 \cdot 10^{-7}$
14,8	-37,6	30	710	$0,73 \cdot 10^{-6}$
15	-37,8	30	2729	$3,03 \cdot 10^{-6}$
15,2	-37,94	30	11253	$1,25 \cdot 10^{-5}$
15,4	-38,11	30	31220	$3,46 \cdot 10^{-5}$
15,6	-38,29	30	82356	$3,15 \cdot 10^{-5}$
15,8	-38,47	30	187289	$2,08 \cdot 10^{-4}$
16	-38,67	10	139785	$4,65 \cdot 10^{-4}$
16,2	-38,81	10	274823	$3,16 \cdot 10^{-4}$
16,4	-39,12	5	216896	$1,44 \cdot 10^{-3}$
16,6	-39,41	5	366666	$2,44 \cdot 10^{-3}$
16,8	-39,60	5	579879	$3,87 \cdot 10^{-3}$

pogostost napak (BER)



optična vhodna moč v sprejemnik